

HYBRIDNÉ POHONY LIETADIEL

HYBRID AIRCRAFT PROPULSION

Dominika Dančová

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
dancova@stud.uniza.sk

Michal Janovec

Air Transport Department, University of Zilina, Slovakia
michal.janovec@fpedas.uniza.sk

Abstract - The aim of this paper is to evaluate the propulsion of aircraft from the present to the future development of the aviation industry. The paper describes the negative effects on the environment, new possible solutions for drives, as well as design modifications of engines. The first chapter is focused on the current propulsion of aircraft and their basic division. Described piston and jet engines. The second and third chapters describe the propulsion of hybrid and electric aircraft. They have great potential for reducing fuel consumption in aviation, as fuel prices are constantly rising. Hybrid electric propulsion systems not only provide fuel economy benefits, but also reduce take-off noise and emissions. The final chapter is focused on the results of research into the development of hybrid and electric drives, evaluated possible assumptions of success of individual parts.

Key words: current aircraft propulsion, harmful emissions, noise, hybrid aircraft propulsion, electric aircraft propulsion, revolutionary technologies, development.

I. ÚVOD

V súčasnej dobe vzniká čoraz väčší záujem o ekologické problémy a spolu s tým súvisiaca ochrana životného prostredia. Otázky životného prostredia sa v plnej miere dotýkajú leteckej dopravy, ktorá už niekoľko desaťročí aktívne reaguje na tento problém. Vznikajú rôzne názory, ako aj názor, že civilné letectvo negatívne ovplyvňuje životné prostredie už niekoľko desaťročí. Letecká doprava prispieva ku celosvetovému znečisťovaniu a ku globálnemu otepľovaniu atmosféry v podstatne v malom rozsahu. Ak si porovnáme s leteckou dopravou cestnú a železničnú dopravu, zistíme, že plošne produkujú oveľa väčšie množstvo hluku pre obyvateľstvo ako letecká doprava. Ale aj tak ostaneme pri otázkach ako znížiť vznik emisií, hluku a spotreby paliva[11].

Globálne zameranie na opatrenia v oblasti klímy vyvolalo výrazne zvýšenú intenzitu výskumných a technologických činností s cieľom zlepšiť energetickú účinnosť a rozšíriť využívanie obnoviteľných energií. Presnejšie povedané,

cieľom tohto odvetvia je znížiť znečisťovanie v leteckej doprave do roku 2050. Prispieť ku tomu všetkému majú výskumy v oblasti:

- *hybridných pohonov lietadiel,*
- *elektrických pohonov lietadiel.*

Letecká doprava si vyžaduje nové konštrukcie a nápady, nové technologické postupy vzhľadom na neustály nárast cien pohonných hmôt ako aj nároky, ktoré sa kladú na letecké pohonné jednotky. Revolučné technológie, inovácie v konštrukcii krídel, návrhy budúcich modelov lietadiel a priblíženie ich predpokladov do budúcnosti nám dáva príležitosť vidieť možnosti ďalšieho vývoja, či už ide o inovácie elektrického pohonu alebo hybridného pohonu.

II. SÚČASNÉ POHONNÉ JEDNOTKY

Neustálym rastom leteckej dopravy, rastie aj spotreba pohonných hmôt. Čoraz väčším spotrebovaním pohonných hmôt sa zvyšuje aj počet vyprodukovaných škodlivých emisií. Najdôležitejším cieľom leteckej dopravy je neustále znižovanie vyprodukovaných emisií, aby mali čo najmenší dopad na životné prostredie, ale zároveň vyvinúť čo najefektívnejšie pohonné jednotky.

Dôležitými súčasťami je doceliť zvýšenie teploty pred plynovou turbínou, zvýšenie obvodových rýchlostí v nízkotlakovom kompresore pomocou zmeny tvaru lopatiek s použitím pevnejšieho materiálu lopatiek. Materiály použité pri konštrukcii pohonnej jednotky sú taktiež dôležitou súčasťou jej bezpečnosti, účinnosti a efektívnosti. Monitorovaním stavu motora dokážeme splňať požiadavky kladené na letecké motory, ako sú spoľahlivosť, dlhá životnosť motora a jeho komponentov. Taktiež nás dokáže v dostatočnom čase upozorniť na prípadné poruchy a nedostatky, čo nám nepriamo znižuje prevádzkové náklady [1].

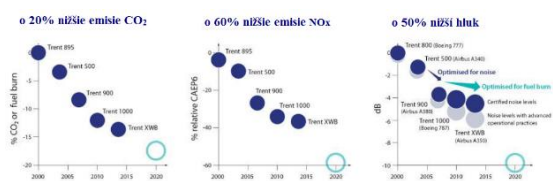
PIESTOVÉ MOTORY

Ako príklady piestových motorov je uvedený M337, ktorý je známy hlavne kvôli využitiu v lietadlách ako napríklad Z-142 alebo Z-43, ktoré sa nachádzajú aj na Žilinskej univerzite v Žiline, a tvoria súčasť pre letecké výcvikové vzdelávanie

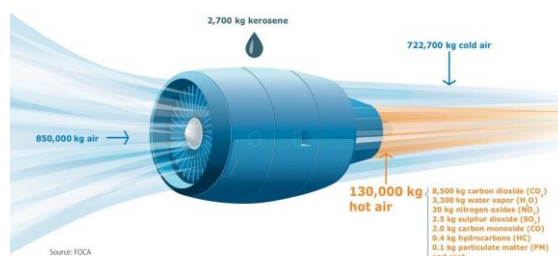
študentov. Ide o typ motora, ktorý vďaka adaptácii olejového a palivového systému umožňujú aj akrobatickú prevádzku. Druhý motor je SR460 určený pre nové programy jednomotorových alebo viacmotorových lietadiel pre profesionálne alebo súkromné využitie. Je to menej známy motor vyrobený francúzskym výrobcom, prezentovaný na Paris Air Show 2015. Jeho napájací systém bol upravený s použitím šiestich nezávislých čerpadiel poháňaných vačkovým hriadeľom namiesto jedného predchádzajúceho vysokotlakového čerpadla. Toto usporiadanie bolo jednoduchšie, vyžadovalo menej častí a umožnilo získať ešte presnejšie vstrekovanie paliva pre každý valec [4][5].

PRÚDOVÉ MOTORY

Za prúdový najúčinnjší motor na svete sa považuje Rolls-Royce Trent XWB, ktorý poskytuje špičkovú efektívnosť, najnovšie technológie systému, vyspelých materiálov a zároveň prináša úspory hmotnosti a zlepšenú aerodynamiku. GE9X, ktorý zaraďujeme tiež medzi najväčšie a najvýkonnejšie komerčné motory na svete zahŕňa najpokrokovejšie technológie spoločnosti GE aby poskytoval bezkonkurenčný výkon. Oba motory patria medzi motory, ktoré boli navrhnuté s ohľadom na životné prostredie, zároveň aby patrili medzi najtichšie motory s najnižším vznikom škodlivých emisií a najnižšou spotrebou paliva. Rolls-Royce Trent XWB nám prináša svojim postupným vývojom zníženie emisií CO₂ až o 20% oproti svojim predchodcom od roku 2000. Rovnako ako emisie CO₂ tak aj emisie NO_x majú svoje výrazné zníženie v porovnaní s rokom 2000 a to až o 60%. Zníženie hladiny hluku oproti roku 2000 nám klesne až o 50%, čo predstavuje výrazné zníženie [6][8].



Graf 1: Emisie RollsRoyce Trent [8]



Obrázok 1: Emisie dvojmotorového lietadla za 1hod/150 pasažierov [10]

III. HYBRIDNÉ POHONY LIETADIEL

Primárnym zámerom spoločností a výrobcov hybridných a elektrických pohonov lietadiel je vyvinúť metódu vhodnú pre dosiahnutie plne elektrického pohonu. Plne elektrický pohon začína najskôr hybridným pohonom, s energiou dodávanou uhl'ovodíkovými palivami a následne je cieľom prejsť

k plne elektrickému systému s batériami na zabezpečenie energie k pohonu. Hybridný elektrický pohon používa elektrickú energiu v kombinácii s aspoň jedným ďalším zdrojom energie. Hybridné pohony majú úzky súvis s emisiami a kvalitou životného prostredia. Európska únia tvrdí, že priame emisie z leteckej dopravy predstavujú približne 3% celkových emisií skleníkových plynov v EÚ a viac ako 2% globálnych emisií. Čísla naznačujú, že ak súčasná technológia nebude dosahovať pokroky, výstup CO₂ z leteckej dopravy sa pravdepodobne zvýši. Je to najmä kvôli, čoraz väčšiemu vyhľadávaniu leteckej dopravy v Číne, Indii, afrických a juhoamerických krajinách, ktoré stále viac uprednostňujú lietanie. Aj keď sú kompenzované krajinami, ktoré sa usilujú o zníženie emisií CO₂, stále to znamená celkový globálny nárast emisií CO₂ z leteckej dopravy o 5% [11].

Skutočné výhody nám môžu priniesť architektúry pohonu, vďaka zníženým emisiám a vývoj motorov na prechod k plne elektrickým lietadlám. Medzi rôznymi architektúrami pohonu uvažovanými pre budúce lietadlá možno rozlíšiť tieto hlavné kategórie, ktoré sa spoliehajú na rôzne technológie:

- **turbo – elektrická architektúra**
 - plne turboelektrická architektúra
 - čiastočná turboelektrická architektúra
- **hybrid – elektrická architektúra**
 - sériová hybridná architektúra
 - paralelná hybridná architektúra
- **elektrická architektúra**

Zvýšená prevádzka lietadiel na letisku alebo okolo neho, kde sa nachádza, tiež produkuje emisie, ktoré znižujú kvalitu vzduchu. Riziko predstavuje tvorba oxidov dusíka, NO_x, jemných častíc (Particle Material - PM_{2,5}; PM₁₀) a ozónu (O₃). Druhým faktorom nespokojnosti obyvateľov, ktorí sa nachádzajú pri letiskách, je hluk. Zavedením lietadiel poháňaných elektrickým pohonom existuje potenciál na podstatné zníženie hladiny hluku, nakoľko neprodukujú také množstvo hluku ako lietadlá poháňané spaľovacími motormi. Zníženie množstva potrebného paliva, znižuje náklady na prevádzku lietadla. To sa časom zmení na väčšie náklady, ak sa predpokladá znížená dostupnosť ropy a jej náklady sa zvýšia.

Z toho vyplýva cieľ pre čistejšiu leteckú dopravu a to zníženie emisií CO₂, NO_x, PM_{2,5} a O₃, hluku a nákladov na palivo [11][12].

HYBRID – ELEKTRICKÉ LIETADLÁ

Hybridné elektrické lietadlá sa v blízkej budúcnosti považujú za veľmi účinnú náhradu za konvenčné lietadlá krátkého a stredného doletu. Mnoho veľkých spoločností v oblasti letectva a elektrických zariadení investuje do tejto technológie, ako napríklad Airbus, Siemens, Rolls-Royce, Boeing a ďalšie. Rôzne štúdie tvrdia, že bude možné úplne nahradiť 60% až 70% všetkých tradičných regionálnych lietadiel hybridnými lietadlami. V novembri 2017 uzavreli Airbus, Rolls-Royce a Siemens partnerstvo s cieľom vytvoriť hybridné elektrické demonštračné komerčné lietadlo E-Fan X, ktoré dokáže prepraviť 50 - 100 cestujúcich na palube, lietať na regionálnych a krátkych trasách s predpokladaným uvedením do prevádzky okolo roku 2035. Cieľom spoločnosti je do roku 2030 zníženie emisií o 25%. V USA spoločnosť Boeing a americká letecká spoločnosť založili spoločnosť Zunum Aero, ktorej cieľom je vyvinúť komerčné

hybridné elektrické lietadlo. Ako prvým jeho plánom bolo uviesť do prevádzky lietadlo v roku 2023, ktoré by dokázalo prepraviť 15 cestujúcich a letieť vo výške až do 1111,2 km. Medzi ďalšie plány spoločnosti Zunum patrí zavedenie hybridného lietadla krátko do roku 2027, ktoré by bolo schopné prepraviť 50 cestujúcich a letieť vo výške do 1852 km. Okrem toho existujú plány rozvoja pre 100-miestne lietadlo, ktoré by bolo schopné lietať až do 2800 km. Lietadlo by dokázalo znížiť 80% emisií CO₂ a očakáva sa, že sa uvedie do prevádzky okolo roku 2030. STARC-ABL, jeden z projektov X-lietadla NASA, je turboelektrické lietadlo, ktoré by malo prepraviť až 150 cestujúcich a predpokladá sa, že vstúpi do prevádzky v rokoch 2035 až 2040, s výhodami zníženia emisií o 10%. DaVinci s hybridným elektrickým pohonným systémom ponúka oveľa nižšie náklady ako akékoľvek iné lietadlo vo svojej triede. E-Fusion je dvojmiestny, hybrid-elektrický dolnoplošník. Lietadlo má prázdnu hmotnosť 410 kg a maximálnu vzletovú hmotnosť 600 kg. Vyžaduje si vzletovú vzdialenosť medzi 120 - 130 m a pristávaciu vzdialenosť od 150 - 200 metrov [11][16][17].

Tabuľka 4: Prehľad koncepcií hybrid - elektrických lietadiel [11][22].

HYBRID-ELEKTRICKÉ LIETADLO	ELEKTRICKÁ ENERGIA	UVEDENIE DO PREVÁDZKY	ZNÍŽENIE CO ₂	ROZSAH	POČET PASAŽIEROV
E-Fan X	8-16 MW	2030-35	25%	regionálne	50-100
ZunumAero	4-5 MW	2027	80%	regionálne	50
ZunumAero	15 MW	2030-35	80%	2800 km	100
STARC-ABL	2-3 MW	2035-40	10%	regionálne	150
DaVinci	N.A	2017	-	N.A	2+2
e-Fusion	60 kW	2016	-	1100 km	2

IV. ELEKTRICKÉ POHONY LIETADIEL

Plány na využitie elektriny ako čistej pohonnej energie pre lietadlá nedávno dosiahli výrazný pokrok. Elektromotory počas svojej činnosti neprodukujú žiadne emisie, čo z nich robí zásadný technologický prvok pri dosahovaní environmentálneho cieľa do roku 2050. Výroba elektrickej energie dnes zjavne nie je bez emisií, ale dá sa očakávať, že súvisiace emisie výrazne klesnú do roku 2050, vďaka silnému trendu smerom k obnoviteľným energiám vo všetkých odvetviach globálnej ekonomiky. Výrobcovia lietadiel v spojení s poskytovateľmi elektrických zariadení alebo špecializovanými spoločnosťami v súčasnosti vyvíjajú elektrické technológie slúžiace ako pohonná energia a dodávajúca energia na palubu lietadla. Najväčším problémom, s ktorým sa letecký priemysel stretáva spočíva v akumulátoroch. Aby sa z celoelektrického systému stala realita, je potrebná batéria s vyššou hustotou energie, ako je v súčasnosti k dispozícii, s dlhšou životnosťou a zvýšenou spoľahlivosťou. Z krátkodobého hľadiska môžeme povedať, že vývoj komerčne veľkých lietadiel typu „elektricky-hybridné“ budú skôr prístupné ako „elektrické“ [11] **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

Očakáva sa, že radikálne nové návrhy pohonných hmôt budú mať významný vplyv na zníženie spotreby paliva pre budúcu flotilu, a že implementácia revolučných motorov a elektrických lietadiel umožní v nadchádzajúcich desaťročiach veľmi výrazné úspory paliva a emisií. Ak všetky súčasné komerčné lietadlá majú konvenčnú konfiguráciu trupu a krídel,

pre budúce draky lietadiel sa zvažujú, aj nové konfigurácie s vyššími výhodami palivovej úspornosti. Najvýznamnejšie inovácie v oblasti technológií pohonu lietadiel sú:

- *technológia príjmu hraničných vrstiev*
- *technológia otvoreného rotora*
- *aerodynamická technológia*
- **v oblasti konfigurácii krídel:**
- *vystužené krídlo*
- *zmiešaná konštrukcia (samokrídlo)*
- *koncept malých BWB*
- *„Flying-V“*

Všetky tieto návrhy sú výrazne šetrnejšie k životnému prostrediu, ako konvenčné návrhy lietadiel a nielen úspornejšie, ale aj tichšie. Pre každú koncepciu uprednostňujú použiteľnosť na krátke alebo dlhé vzdialenosti. Okrem použitia generátora poháňaného konvenčným spaľovacím motorom na premenu mechanickej energie na elektrickú energiu sú dvoma hlavnými zariadeniami uvažovanými pre elektrický pohonný systém pre dopravné lietadlá akumulátory a palivové články [11][23].

ELEKTRICKÉ LIETADLÁ

Lietadlá poháňané akumulátormi dosahujú vo všeobecnosti najvyššie možné zníženie emisií CO₂ a environmentálny prínos. Počas prevádzky nevytvárajú emisie CO₂, ani znečisťujúce látky, ktoré ovplyvňujú kvalitu vzduchu a ich hluk je omnoho nižší, ako hluk lietadiel poháňaných spaľovacími motormi. Otázniky zostávajú nad CO₂ pri výrobe elektrickej energie. Niektoré štáty plánujú zníženie emisií CO₂ do roku 2050 o 90%. Predpokladá sa po roku 2040 viac ako 80% elektrickej energie neobsahujúcej CO₂ [11].

Spoločnosť Pipistrel v oblasti neustáleho vývoja, kvality, špičkovej technológie, lietania bez toho, aby došlo k poškodeniu životného prostredia toxickými plynmi alebo nadmerným hlukom predstavuje ALPHA Electro. Výkon ALPHA Electro je prispôbený potrebám leteckých škôl. 13% energie sa pri každom priblížení rekuperuje, čím sa zvyšuje vytrvalosť a súčasne umožňuje krátke - pristátie na poliach. X-57 Maxwell NASA je ďalším príkladom plne elektrického experimentálneho lietadla navrhnutého tak, aby demonštrovalo, že plne elektrický letún môže byť účinnejší, tichší a ekologickjší ako letúny poháňané tradičnými spaľovacími motormi. Iným typom plne elektrického lietadla môže byť plne elektrický VTOL (vertikálne vzletové a pristávacie lietadlo), ktoré môže prepraviť až dve osoby a lietať až 300 km za hodinu. Bezpilotný prototyp absolvoval svoj prvý let v roku 2017, väčšia päťmiestna verzia prvýkrát vykonala let v máji 2019, kde dokázala prepraviť 4 cestujúcich + pilot s dosahom 300 km, rýchlosťou 300km/h a s 36 elektrickými motormi [25][26].

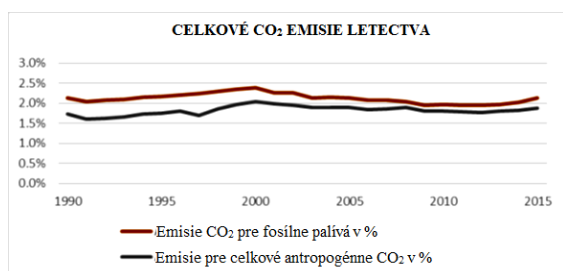
Ce-Liner s konfiguráciou krídla tvaru C, ktorý v porovnaní s konvenčným dizajnom draku výrazne zlepšuje jeho aerodynamickú účinnosť, aby sa minimalizovala spotreba energie a tým aj hmotnosť akumulátora. Lietadlo s maximálnou kapacitou sedadiel 189 cestujúcich vo verzii s jednou triedou a s rozsahom 1666 km je schopná vstúpiť do prevádzky do roku 2035 [11].

NASA skúmala koncepty BWB s distribuovanými turboelektrickými pohonnými systémami v posledných desiatich rokoch a predpovedala úspory paliva až 70%. Nedávny pokrok v navrhovaní malých BWB, by mohol viesť k novým príležitostiam

v tejto oblasti. Malé BWB typicky pokrývajú kategóriu sedadiel od 100 do 150, ktorá je oveľa lepšie prispôbena rôznym konceptom hybridného a elektrického pohonu. Ako príklad je N3-X založený na konštrukcii samokrídla, ktorá je určená na zlepšenie aerodynamiky, palivovej úspornosti, emisií a hluku. N3-X používa niekoľko supravodivých elektrických motorov na poháňanie distribuovaných ventilátorov na zníženie spaľovania paliva, emisií a hluku. Airbus predstavil nové lietadlo Maveric. Ide taktiež o samokrídlo, kde trup je súčasťou krídla, čo napomáha k zníženiu odporu a k zlepšeniu obtekania vzduchu. S dĺžkou 2 metre a šírkou 3,2 m s povrchovou plochou asi 2,25 m² má rušivý dizajn lietadla, ktorý má v porovnaní so súčasnými jednoplošnými lietadlami potenciál znížiť spotrebu paliva až o 20% [11][23][30][31].

ZHDNOTENIE HYBRIDNÝCH A ELEKTRICKÝCH POHONNÝCH SYSTÉMOV

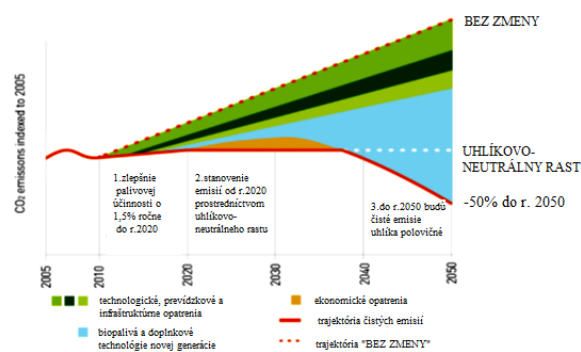
Neustále zlepšovanie palivovej účinnosti lietadiel hrá rozhodujúcu úlohu pri dosahovaní cieľa zníženia emisií CO₂ do roku 2050. Technologické inovácie, ako sú ľahšie materiály, vyšší výkon motora a aerodynamické vylepšenia, od začiatku doby skutočne znížili spotrebu paliva na kilometer na osobu o viac ako 70%. V budúcnosti sa očakáva ďalšie výrazné zníženie z nových technológií. Keď sa však zavedú nové, účinnejšie lietadlá, trvá to niekoľko rokov po uvedení do prevádzky, kým sa na trh nedostane dostatočný počet a ich výhody sa nezaznamenajú na úrovni palivovej účinnosti svetovej flotily.



Graf 2: Vývoj celkových CO₂ emisií letectva [11].

S prihliadnutím na súčasnú dynamiku smerom k obnoviteľnej energii a záväzky štátov podľa parížskej dohody je pravdepodobné, že iné priemyselné odvetvia sa v nadchádzajúcich desaťročiach presunú k dekarbonizácii. Jedným príkladom je nahradenie vozidiel fosílnych palív elektrickými. Letectvo musí vynaložiť veľké úsilie na zníženie svojich emisií CO₂ podobným tempom [11].

Konfigurácie elektrických lietadiel napájaných akumulátorom sa obmedzia na malé lietadlá (všeobecné letectvo), ktoré nie sú významným zdrojom emisií CO₂ v porovnaní s väčšími lietadlami. V prípade veľkých lietadiel je pravdepodobné, že aplikácie palivových článkov sa obmedzia na sekundárne systémy, ako sú pomocné energetické jednotky a štartovacie systémy a iné. Predtým, ako sa tieto zdroje energie zväžia pre veľké lietadlá, bude sa musieť dosiahnuť značné zlepšenie špecifickej energie akumulátorov a palivových článkov.



Graf 3: Plán znižovania emisií CO₂ [11].

Koncepcie turboelektrického pohonu do veľkej miery závisia od pokroku v technológiách elektrických energetických systémov lietadiel. Tieto technológie zahŕňajú generátorové systémy na výrobu elektrickej energie, výkonová elektronika na konverziu, úpravu a distribúciu energie, vysokovýkonná distribúcia lietadiel, ktorá zahŕňa ochranu obvodu, motory a skladovanie energie. Technologické elektrických systémov predstavujú množstvo problémov týkajúcich sa systému riadenia teploty (TMS). Elektrické technológie tiež generujú veľké množstvo tepla počas prevádzky, ktoré by malo byť riadené TMS, čo z nich robí rozhodujúcu súčasť turboelektrického pohonného systému. Systém riadenia teploty je dôležitým aspektom, pretože môže ovplyvniť nielen výkon elektrického pohonného systému, ale aj výkon lietadla. Výsledkom je, že štrukturálne a aerodynamicky účinnejšie konfigurácie môžu pomôcť pri riešení týchto problémov [23].

V. ZÁVER

V článku sme si povedali o postupných inováciách, o pokračujúcom raste odvetvia letectva a jeho zvýšenom výrobnom tempe. Tým sa vyvíja široká škála technologických inovácií s cieľom zlepšiť palivovú účinnosť lietadiel a znížiť spotrebu paliva, vznik emisií a hluku. Posun k postupnej elektrifikácii predstavuje riziko, pretože tento nový model vytvára množstvo technických prekážok, napríklad zlepšenie súčasného ukladania energie, kapacita akumulátorov, ako aj ľahké a efektívne elektrické generátory, motory a výkonová elektronika, ktoré sú schopné prevádzkať, upravovať a prepínať na vysokonapäťové napájanie. Z hodnotenia týchto technológií možno vyvodit' niekoľko záverov :

- Súčasná konfigurácia lietadiel trup a krídlo poháňaná spaľovacími motormi uhl'ovodíkovým palivom sa neustále vyvíjala. Spaľovanie paliva lietadlom na osobu na kilometer sa znížilo o viac ako 70% a je možné znížiť súčasné spaľovanie paliva približne o ďalších 30% bez toho aby došlo k radikálnym zmenám v konfigurácii a pohone lietadla.

- Hybridné elektrické lietadlá sa v blízkej budúcnosti považujú za veľmi účinnú náhradu za konvenčné lietadlá krátkeho a stredného doletu. Predpokladá sa, že ťažké batérie by sa mohli nahradiť vodíkovými palivovými článkami, len vtedy ak bude existovať spoľahlivá celosvetová sieť na dodávku vodíka. Tieto lietadlá sú navrhnuté tak, aby nahradili konvenčné lietadlá poháňané spaľovacími motormi na regionálnych trasách. Rôzne štúdie tvrdia, že bude možné úplne nahradiť 60 až 70% všetkých tradičných regionálnych lietadiel hybridnými lietadlami.

• Lietadlá poháňané batériami dosahujú vo všeobecnosti najvyššie možné zníženie emisií CO₂ a environmentálny prínos. Počas prevádzky nevytvárajú emisie CO₂ ani znečisťujúce látky, ktoré ovplyvňujú kvalitu vzduchu a ich hluk je omnoho nižší ako hluk lietadiel poháňaných spaľovacími motormi. Výroba elektrickej energie dnes zjavne nie je bez emisií, ale dá sa očakávať, že súvisiace emisie výrazne klesnú do roku 2050 vďaka silnému trendu smerom k obnoviteľným energiám vo všetkých odvetviach globálnej ekonomiky.

Otázka alternatívnych pohonných systémov v leteckej doprave je v súčasnej dobe veľmi frekventovaná. Postupné výskumy v tejto oblasti a produkcia koncepcií spomínaných partnerstiev a svetových gigantov leteckej doprave zodpovie otázky, ktoré sú dnes kladené. Naozaj náhrada elektrickými pohonnými systémami bude prospešná pre environmentálny systém, šetrenie paliva a hluku, alebo bude dopad na prírodu negatívnejší výrobou a dobíjaním akumulátorov?

Pod'akovanie

Článok je publikovaný ako jeden z výstupov projektu **KEGA 011ŽU-4/2018** s názvom „Nové technológie vo vzdelávaní v študijnom programe Letecká doprava a Profesionálny pilot“

REFERENCIE

- [1] DURCHAN, V. 2014. *Současné trendy ve vývoji leteckých pohonných jednotek*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 2014. 45 s.
- [2] KOUTNÍK, T. 2014. *Letecké pohonné jednotky*: bakalárska práca. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojíního inženýrství, 2014. 49 s.
- [3] HOCKO, M. 2008. *ÚVOD DO TEÓRIE LETECKÝCH MOTOROV II.* [online]. Košice: TECHNICKÁ UNIVERZITA V KOŠICIACH, LETECKÁ FAKULTA, KATEDRA LETECKÉHO INŽINIERSTVA. 2008. [cit. 05.03.2020]. Dostupné na: <http://web.tuke.sk/lf-kli/Hocko%20Marian/UVOD%20DO%20TEORIE%20LETECKYCH%20MOTOROV%20II.pdf>
- [4] LOM PRAHA. 2020. *Letecké pístové motory* [online]. 2020. [cit. 10.03.2020]. Dostupné na: <http://www.pistovemotory.cz/o-nas>
- [5] PASSIEUX. 2015. *SMA SR460* [online]. 2015. [cit. 10.03.2020]. Dostupné na: <http://jn.passieux.free.fr/html/Sr460.php>
- [6] GE Aviation. 2020. *GE9X Commercial Aircraft Engine* [online]. 2020. [cit. 11.03.2020]. Dostupné na: <https://www.geaviation.com/commercial/engines/ge9x-commercial-aircraft-engine>
- [7] BARIČ, M. 2018. *Predstavili súkromný Boeing 777X* [online]. 2018. [cit. 28.05.2020]. Dostupné na: <https://www.jet.sk/news/view/predstavili-sukromny-boeing-777x>
- [8] WHURR, J. 2013. *Future Civil Aeroengine Architectures & Technologies*: Chief Project Engineer, Future Programmes. Veľká Británia. 2013. 34 s.
- [9] RAMADIER, S. 2016. *Airbus predstavil lietadlo budúcnosti* [online]. Airbus S.A.S. 2016. [cit. 28.05.2020]. Dostupné na: <https://dromedar.zoznam.sk/cl/100073/1591655/Airbus-predstavil-lietadlo-buducnosti--Mame-detaily-aj-unikatne-VIDEA>
- [10] COKORIOLO, O. 2019. *CORSIA-Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation: Challenge and Practice* [online]. 2019. [cit. 28.05.2020]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/figure/Emissions-from-a-Typical-Two-engine-Jet-Aircraft-During-1-hour-Flight-with-150-Passengers_fig1_333059258
- [11] MEMBER & EXTERNAL RELATIONS. 2020. *Aircraft Technology Roadmap to 2050*. Switzerland: IATA, 2020. 51 s.
- [12] FELDER, J. L. 2020. *NASA Electric Propulsion System Studies* [online]. Cleveland: NASA Glenn Research Center. 2020. 14 s. [cit. 10.03.2020]. Dostupné na: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20160009274.pdf>
- [13] AIGNER, B. - NOLLMANN, M. – STUMPF, E. 2018. *Design of a hybrid electric propulsion system within a preliminary aircraft design software environment*. Aachen: Institute of Aerospace Systems, RWTH Aachen University. 2018. 14 s.
- [14] STÜCKL, S. 2015. *Methods for the Design and Evaluation of Future Aircraft Concepts Utilizing Electric Propulsion Systems*. Mníchov: Technische Universität München, PhD thesis. 2015.
- [15] BROWN, G. V. 2011. *Weights and Efficiencies of Electric Components of a Turboelectric Aircraft Propulsion System*. In: 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. 2011.
- [16] VOLARÉ, V. 2017. *Freedom Of Flight*. [online]. 2017. [cit. 23.04.2020]. Dostupné na: <http://www.voltavolare.com/performance/>
- [17] AEROSPACE TECHNOLOGY. 2020. *Magnus eFusion Light Sport Aircraft* [online]. 2020. [cit. 01.05.2020]. Dostupné na: <https://www.aerospace-technology.com/projects/magnus-efusion-light-sport-aircraft/>
- [18] CALDERWOOD, D. 2018. *Siemens shows hybrid electric-diesel test unit* [online]. 2018. [cit. 01.05.2020]. Dostupné na: <https://www.flyer.co.uk/siemens-shows-hybrid-electric-diesel-test-unit/>
- [19] AIRBUS S.A.S. 2019. *E – Fan X* [online]. 2019. [cit. 10.05.2020]. Dostupné na: <https://www.airbus.com/innovation/future-technology/electric-flight/e-fan-x.html>
- [20] THE FLEMISH AEROSPACE GROUP. 2018. *Zunum confirms flight testing schedule for hybrid-electric aircraft* [online]. 2018. [cit. 10.05.2020]. Dostupné na: <http://flag.be/newsitems/zunum-confirms-flight-testing-schedule-for-hybrid-electric-aircraft/>
- [21] DELBECQ, S. 2018. *Knowledge-Based Multidisciplinary Sizing and Optimization of Embedded Mechatronic Systems - Application to Aerospace Electro-Mechanical Actuation Systems* [online]. 2018. [cit. 16.05.2020]. Dostupné na: https://www.researchgate.net/figure/NASAs-Starc-ABL-aircraft-concept-242_fig2_333745085
- [22] ICAO. 2020. *Electric and Hybrid Aircraft Platform for Innovation* [online]. 2020. [cit. 16.05.2020]. Dostupné na: <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/electric-aircraft.aspx>

- [23] NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. 2016. *Commercial Aircraft Propulsion and Energy Systems Research: Reducing Global Carbon Emissions*. Washington, DC: The National Academies Press. 122 s. ISBN 978-0-309-44096-7
- [24] GÜMMER, V. 2018. *Conceptual Design Methods for Sizing and Performance of Hybrid-Electric Transport Aircraft*: dizertačná práca. Mníchov: die Fakultät für Maschinenwesen. 2014. 144 s.
- [25] PIPISTREL. 2020. *ALPHA ELECTRO* [online]. 2020. [cit. 16.05.2020]. Dostupné na: <https://www.pipistrel-usa.com/alpha-electro/#>
- [26] ANTCLIFF, K. R. 2020. *ASAB Projects* [online]. 2020. [cit. 16.05.2020]. Dostupné na: <https://sacd.larc.nasa.gov/x57maxwell/>
- [27] WALZ, E. 2019. *Air Taxi Startup Lilium Tests its Prototype 5-Passenger VTOL Electric Jet* [online]. 2019. [cit. 19.05.2020]. Dostupné na: <https://m.futurecar.com/3213/Air-Taxi-Startup-Lilium-Tests-its-Prototype-5-Passenger-VTOL-Electric-Jet>
- [28] WRIGHT. 2019. *Lower cost, quieter flight, cleaner future* [online]. 2019. [cit. 19.05.2020]. Dostupné na: <https://weflywright.com/>
- [29] BAUHAUS LUFTFAHRT e. V. 2017. *The Ce-Liner: potentially emission-free operation in commercial air travel* [online]. 2017. [cit. 20.05.2020]. Dostupné na: <https://www.bauhaus-luftfahrt.net/en/topthema/ce-liner/>
- [30] HALL, D. K. 2017. *Aircraft Propulsor Modeling and Design for Boundary Layer Ingestion: Advanced Modeling & Simulation Seminar*. NASA Ames Research Center. 2017. 41 s.
- [31] LAJČÁK, M. 2020. *Airbus chce zmeniť lietadlá ako ich poznáme*. In *Fontech Startitup* [online]. 2020. [cit. 21.05.2020]. Dostupné na: <https://fontech.startitup.sk/airbus-chce-zmenit-lietadla-ako-ich-pozname-tajne-otestoval-prelomovy-novy-dizajn/>
- [32] ĎURČANSKY, P. & ČERŇAN, J. 2019. Natural gas storage Safety and efficiency. *Transport Means - Proceedings of the International*
- [33] ČERŇAN, J., HOCKO, M. & CÚTTOVÁ, M. 2017. Safety risks of biofuel utilization in aircraft operations. *Transportation Research*
- [34] SEMRAD, K., ČERŇAN, J., CÚTTOVÁ, M. & FOZO, L. 2018. The concept of an air driven propeller as a thruster for special use. *NTAD 2018 - 13th International Scientific Conference - New Trends in Aviation Development Proceedings* 8551648, pages 144-149
- [35] BUGAJ, M., URMINSKY, T., JURÁK, P. & PECHO, P. 2018. *Transport Means - Proceedings of the International Conference 2018-October*, pages 1174-1178.
- [36] BUGAJ, M. 2011. *Systémy údržby lietadiel*. vyd. - V Žiline : Žilinská univerzita, 2011. - 142 s., ilustr. - ISBN 978-80-554-0301-4.
- [37] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A. 2010. *Medzinárodnoprávna úprava civilného letectva*. Žilinská univerzita, 2010. - 125 s. ISBN 978-80-554-0300-7.
- [38] BUGAJ, M. 2005. Aircraft maintenance - new trends in general aviation. *Promet - Traffic - Traffico*, 17(4), pages 231-234.
- Dominika Dančová – narodená dňa 03.08.1993 vo Zvolene. Navštevovala ZŠ v Detve do roku 2008 a následne od roku 2008 študovala Strednú odbornú školu v Lučenci v odbore Hotelová akadémia. Po absolvovaní SOŠ sa zamestnala v gastronómii do roku 2017. V roku 2017 nastúpila na Žilinskú univerzitu v Žiline, Fakulta prevádzky a ekonomiky, dopravy a spojov, v odbore doprava, pričom sa zamerala na študijný program profesionálny pilot a od roku 2019 so zameraním na leteckú dopravu.